

DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.03.017

• 诊断与治疗/论著 •

左乳腺癌保乳术后 4 种放疗计划的剂量学比较

任洪荣, 殷海涛, 阮晓博, 丁纪, 周冲, 陈猛

徐州市中心医院放疗科, 江苏 徐州 221000

摘要: **目的** 比较左侧乳腺癌保乳术后行全乳放射治疗时 4 种放射治疗计划的靶区及危机器官剂量学差异, 探讨保乳术后较优的放疗治疗方式。**方法** 随机选取 23 例左侧乳腺癌术后行全乳放射治疗患者, 给予 PTV 25 分·次、50 Gy 处方剂量; 分别设计适形混合调强计划(Hybrid_IMRT)、限制铅门多野调强计划(restricted jaw, rj_IMRT)、双弧容积旋转调强计划(VMAT)和基于切线双弧容积旋转调强计划(tangent-based VMAT, t_VMAT)4 种放疗计划。比较这 4 种计划的剂量学差异, 包括靶区及危及器官 OAR 的剂量-体积直方图 DVH, 靶区均匀性指数 HI 和适形性指数 CI 以及机器跳数 MU。**结果** 4 种计划比较, 靶区 HI: t_VMAT 最大, 且与其余 3 种计划相比有差异统计学意义(均 $P < 0.001$); 靶区 CI: VMAT 的 CI 最大, 0.967 ± 0.016 , 与其它 3 者相比, 差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。rj_IMRT 的 CI 为 0.942 ± 0.018 , 优于 Hybrid_IMRT 和 t_VMAT。危及器官方面: 左肺平均剂量, rj_IMRT 为 (8.76 ± 1.52) Gy, 优于其他 3 种计划, 且差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。心脏平均剂量: rj_IMRT 为 (4.68 ± 0.87) Gy, 优于 VMAT 的 (6.90 ± 1.27) Gy, 且有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 4 种计划方式均可应用于临床治疗, 计划制定者应考虑治疗设备限制、患者身体状况等因素选择合适的治疗计划。

关键词: 保乳术; 调强放射治疗; 剂量学比较

中图分类号: R816 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2021)03-0345-05

Dosimetric comparison of left sided breast cancer after breast conserving surgery treated with 4 radiotherapy planning techniques

REN Hongrong, YIN Haitao, RUAN Xiaobo, DING Ji, ZHOU Chong, CHEN Meng

Department of Radiotherapy, Xuzhou Central hospital, Xuzhou 221000 China

Abstract: **Objective** To explore the optimal radiotherapy method by comparing the dosimetric differences of target and organs at risk of four radiotherapy plans for left sided breast cancer after breast-conserving surgery. **Methods** Twenty-three patients with left breast cancer were randomly selected and given PTV 25 fractions, 50 Gy prescription dose. The Hybrid_IMRT, rj_IMRT, VMAT and t_VMAT plans were designed for each patients. Dosimetric differences were compared, including dose volume histograms of target and OARs, target homogeneity indexes (HI), conformal indexes (CI) and the machine MUs. **Results** Target Dosimetric comparison, HI: t_VMAT plan target has highest HI and had significant difference ($P \leq 0.001$); The target CI of VMAT plans were 0.967 ± 0.016 , had significant difference compared with the other 3 plans ($P < 0.05$). The CI of rj_IMRT were 0.942 ± 0.018 better than that of IMRT and t_VMATs. Dosimetric comparison of OARs, left_lung mean dose (MLD_L): rj_IMRT were (8.76 ± 1.52) Gy which were best of 4 plans, and had statistical significance ($P < 0.05$). Heart mean dose: rj_IMRT were (4.68 ± 0.87) Gy were better than that of VMAT ($P < 0.05$). **Conclusion** All of these four plans could be applied in clinical treatments, while the limitations of treatment equipment, patients' physical conditions and some other factors should be considered before selecting an appropriate one.

Keywords: Breast-conserving Surgery; Intensity Modulated Radiotherapy; Dosimetric Comparison**Corresponding author:** CHEN Meng, E-mail: cswd785@126.com

早期乳腺癌全乳放疗目的是在保持患者乳腺外形不发生明显变化的同时降低同侧乳腺的肿瘤复发率及病死率。国外多项针对早期乳腺癌治疗的临床

研究表明: 保乳术后行全乳放疗联合化疗的治疗方式与单纯乳房切除术比较, 患者的无瘤生存期和生存率无统计学差异^[1-2]。

固定野静(动)态调强和旋转容积调强相较于常规乳腺放疗及三维适形放疗有较小的靶区外高剂量区、较高的靶区内剂量均匀性等优点^[3],是乳腺癌保乳术后放疗的主要方式。随机抽取在乳腺保乳术后放射治疗的患者,分别行 4 种调强放疗技术计划,比较靶区和危及器官剂量学上的差异。

1 材料与方法

1.1 临床资料 随机选取 2019 年 10 月—2020 年 10 月 23 例已行放疗的早期乳腺癌保乳术后放疗的患者定位 CT 影像,所有 CT 影像均在本科室模拟定位机获取,层间距为 4 mm,扫描范围距离乳腺上下界不低于 5 cm。患者年龄 24~57 岁,中位年龄 41 岁;所有患者皆为左侧乳腺癌:I 期 10 例,II A、II B 期 13 例。

1.2 治疗及辅助设备 Siemens Definition AS CT 模拟定位机(德国 Siemens),CIVC 体部固定支架(美国 CIVC),Varian Truebeam 电子直线加速器及 Eclipse 10.0 治疗计划系统(美国 Varian),Menteia Accucontour 靶区智能勾画系统(美国 Menteia)。

1.3 靶区及危及器官勾画 参照 2019 年中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范^[4],由高年资主治医师在 Eclipse 计划系统上勾画临床靶区 CTV:上界至乳腺组织上缘,最大到胸锁关节水平;下界勾画到 CT 可见乳腺组织下缘,或乳腺皱褶水平。CTV 均匀外放 5 mm 但不超过皮肤下 3 mm 形成计划靶体积 PTV。危及器官(OAR)包括:左、右侧肺,脊髓,心脏,健侧乳腺,采用 Menteia Accucontour 系统智能勾画。

1.4 处方及计划设计

1.4.1 处方剂量 按照中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范的推荐:采用电子直线加速器 6 MV 能量的 X 线,给予 PTV 剂量 2 Gy/次,每周 5 次,总剂量为 50 Gy,要求 PTV $V_{50}=95\%$ 。

1.4.2 rj_IMRT 计划 顺时针方向间隔 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 布置 9 个调强野,起始角度为 $300^{\circ}\pm 5^{\circ}$,终止角度为 $140^{\circ}\pm 5^{\circ}$,避免产生对穿野,限定射野铅门使其切肺不超过 3 cm,调整准直器角度,使射野内包含最多的靶体积,使用 BEV,适当调整射野角度,尽可能减少健侧乳腺以及心脏被覆盖在射野内。优化目标为 PTV $V_{50}\geq 95\%$, $D_{98\%}\geq 95\%\times$ 总处方剂量(47.5 Gy), $D_{2\%}\leq 105\%\times$ 总处方剂量(52.5 Gy);左肺 $V_{20}\leq 25\%$, $D_{\text{mean}}\leq 12$ Gy;心脏 $D_{\text{mean}}\leq 5$ Gy;右肺 $V_5\leq 10\%$;健侧乳腺平均剂量(D_{mean}) ≤ 1 Gy;

1.4.3 Hybrid_IMRT 计划 在乳腺切线方向设置切线对穿的 2 个适形野,射野在皮肤外外放 2 cm,给予处方剂量的 70% 作为其计划剂量,两野权重均分。IMRT 基于适形计划,30% 处方剂量作为 IMRT 计划剂量。IMRT 计划以切线野 2 个切线角度为参考,各布置 2 个往 0° 方向靠拢的调强野,调强野与最近切线野夹角分别为 10° 和 30° 。计划优化目标与 rj_IMRT 计划相同。

1.4.4 VMAT 计划 给予顺时针和逆时针双弧设计,起始角度为 $300^{\circ}\pm 5^{\circ}$,终止角度为 $125^{\circ}\pm 5^{\circ}$ 。射野 x 轴方向在远离患者的一端在旋转过程中乳腺始终在射野投影内,且 $x_1+x_2=15$ cm。优化目标与 rj_IMRT 计划相同。

1.4.5 t_VMAT 计划 给予顺时针、逆时针双弧设计,以乳腺切线角度为基础,向 0° 方向行弧夹角为 40° 的小段弧。射野 x 轴方向在远离患者的一端在旋转过程中乳腺始终在射野投影内,且 $x_1+x_2=15$ cm。计划优化目标和 rj_IMRT 计划保持一致。

1.5 结果计算

1.5.1 靶区数据收集与计算 剂量体积直方图(DVH)上提取 PTV $D_{2\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $D_{50\%}$ 和 D_{max} ,50 Gy 覆盖的靶区体积和人体体积。根据这些数据计算 PTV 均匀性指数 HI 和适形性指数 CI,HI 具体计算公式: $HI=(D_{2\%}-D_{98\%})/D_{50\%}$ (式中: $D_{2\%}$ 表示 PTV 近似最大剂量, $D_{98\%}$ 表示 PTV 近似最小剂量, $D_{50\%}$ 为中值剂量),HI 值越接近“0”表示靶区内剂量越均匀^[5]。CI 具体计算公式: $CI=(V_{T,Pi}/V)*(V_{T,Pi}/V_{Pi})$ (式中: $V_{T,Pi}$ 表示处方剂量覆盖的 PTV 体积, V_T 表示 PTV 体积, V_{Pi} 表示处方剂量覆盖的人体体积),CI 值越接近“1”表示计划适形性越好。

1.5.2 危及器官数据收集 从 DVH 上读取左肺 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和肺平均剂量(MLD_L),右肺 V_5 和 MLD_R,心脏 V_5 、 V_{10} 和平均剂量以及健侧乳腺平均剂量。计算计划并分别记录每个计划中所有射野 MU 之和。

1.6 统计分析 采用 SPSS 23.0 软件分析数据,ANOVA post hoc 进行方差分析,配对分组比较时使用 Bonferroni 检验,所有数据行双尾检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 靶区剂量学比较 本文设计的 4 种左乳癌保乳术后放疗计划均可使处方剂量覆盖不低于 95%PTV

体积。rj_IMRT, Hy_IMRT, VMAT 计划 HI 均小于 t_VMAT 计划如表 1 所示, 且有统计学意义, 均 $P < 0.001$, 如表 3。其中 Hy_IMRT 计划的 HI 最小, 但与 rj_IMRT、VMAT 计划结果无统计学差异。VMAT 计划有最好的靶区适形性(CI), 与另外 3 种计划比较有统计学差异, 均 $P < 0.001$ 。t_VMAT 计划的 CI 最差, 为 0.843 ± 0.037 。同时, t_VMAT 的 D_{\max} 和 D_{mean}

最大, 分别为 $117.9\% \pm 34.0\%$ 和 $(53.60 \pm 0.74)\text{Gy}$ 与其它 3 种计划比较, 均 $P < 0.001$ 。其他 3 种计划之间比较无统计学意义如表 3。rj_IMRT 计划计算的 MU 最大 1225.1 ± 167.6 , 远高于其他 3 种治疗计划。t_VMAT 计划的 MU 最小 491.2 ± 40.3 , 与其他 3 种计划比较有统计学差异, 均 $P < 0.001$ 。

表 1 保乳术后 4 种放疗计划 PTV 剂量覆盖的比较

Table 1 PTV dose coverage comparison of 4 plans after breast conserving surgery

项目	rj_IMRT(A)($\bar{x} \pm s$)	Hy_IMRT(B)($\bar{x} \pm s$)	VMAT(C)($\bar{x} \pm s$)	t_VMAT(D)($\bar{x} \pm s$)	P值
HI	0.100 ± 0.016	0.089 ± 0.022	0.097 ± 0.021	0.168 ± 0.029	< 0.001
CI	0.942 ± 0.018	0.918 ± 0.027	0.967 ± 0.016	0.843 ± 0.037	< 0.001
$D_{98\%}$	97.3 ± 1.1	97.8 ± 1.2	97.7 ± 1.1	96.5 ± 1.0	0.416
$D_{\max}(\%)$	108.9 ± 1.4	108.9 ± 2.2	109.0 ± 1.6	117.9 ± 34.0	< 0.001
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	51.98 ± 0.25	51.54 ± 0.27	51.96 ± 0.34	53.61 ± 0.74	< 0.001
MU	1225.1 ± 167.6	592.5 ± 78.6	648.8 ± 55.0	491.2 ± 40.3	< 0.001

2.2 危及器官剂量学比较 rj_IMRT 左肺 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 和 MLD 均小于其他 3 种放疗计划如表 2: rj_IMRT 和 Hy_IMRT 在与 VMAT, t_VMAT 比较 V_{20} 及 MLD 时有统计学意义, 均 $P < 0.05$ 。rj_IMRT 和 Hy_IMRT 之间 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} , MLD 无统计学差异, 均 $P > 0.2$ 。Hy_IMRT 和 t_VMAT 计划的右肺 V_5 和 MLD 低于其他 2 种放疗计划, 且有统计学意义, 均 $P < 0.01$, 如

表 3 所示。心脏 V_5 、 D_{mean} 在 rj_IMRT、Hy_IMRT 计划中均低于其他 2 种计划, 且前 2 者 D_{mean} 未超过 5 Gy。rj_IMRT 计划与 rj_IMRT、Hy_IMRT 比 V_5 、 D_{mean} 均有统计学意义, $P \leq 0.05$ 。Hy_IMRT 和 t_VMAT 可以很好的保护健侧乳腺 D_{mean} 都控制在 1 Gy 以下, 分别为 $(0.84 \pm 0.25)\text{Gy}$ 和 $(0.71 \pm 0.37)\text{Gy}$, VMAT 健侧乳腺 D_{mean} 最高为 $(2.17 \pm 0.76)\text{Gy}$ 。

表 2 保乳术后 4 种放疗计划危及器官剂量学比较

Table 2 OARs dosimetry comparison of 4 plans after breast conserving surgery

项目	rj_IMRT(A)($\bar{x} \pm s$)	Hy_IMRT(B)($\bar{x} \pm s$)	VMAT(C)($\bar{x} \pm s$)	t_VMAT(D)($\bar{x} \pm s$)	P值
左肺					
$V_5(\%)$	37.5 ± 5.3	38.5 ± 5.4	51.1 ± 4.1	43.2 ± 86	< 0.001
$V_{10}(\%)$	25.1 ± 4.5	24.4 ± 5.0	33.1 ± 3.2	30.6 ± 7.3	< 0.001
$V_{20}(\%)$	14.7 ± 4.3	15.4 ± 4.3	19.5 ± 3.5	20.2 ± 5.7	< 0.001
$V_{30}(\%)$	9.1 ± 3.5	12.1 ± 4.1	11.9 ± 3.0	14.1 ± 4.6	< 0.001
MLD_L/Gy	8.76 ± 1.52	9.32 ± 1.88	11.44 ± 1.23	11.05 ± 2.81	< 0.001
右肺					
$V_5(\%)$	8.2 ± 7.1	0.1 ± 0.15	16.7 ± 9.6	0.1 ± 0.15	< 0.001
MLD_R/Gy	2.10 ± 0.73	0.52 ± 0.23	3.34 ± 0.73	0.36 ± 0.17	< 0.001
心脏					
$V_5(\%)$	8.0 ± 3.3	8.7 ± 36	16.0 ± 7.1	14.7 ± 5.0	< 0.001
$V_{10}(\%)$	1.3 ± 0.7	3.7 ± 2.2	2.2 ± 1.9	3.8 ± 2.2	< 0.001
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	4.68 ± 0.87	4.78 ± 1.42	6.90 ± 1.27	5.58 ± 1.57	< 0.001
健侧乳腺					
$D_{\text{mean}}/\text{Gy}$	1.26 ± 0.45	0.84 ± 0.25	2.17 ± 0.76	0.71 ± 0.37	< 0.001

注: MLD_L 表示左侧肺平均剂量, MLD_R 表示右侧肺平均剂量, D_{mean} 表示平均剂量。

表 3 保乳术后 4 种放疗计划 PTV 及危及器官剂量学参数两两配对比较的 P 值Table 3 P value of paired comparison dosimetric of PTV and OARs in 4 plans after breast conserving surgery

项目	HI	CI	D_{max}	V_5_L	V_{20_L}	MLD_L	V_5_R	MLD_R	V_5_H	D_{mean_H}	D_{mean_C}
A vs B	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.204	0.001	0.000	1.000	1.000	0.000
A vs C	0.356	0.000	0.528	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002
A vs D	0.000	0.001	0.000	0.052	0.000	0.001	0.001	0.000	0.005	0.049	0.001
B vs C	0.656	0.000	0.483	0.000	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B vs D	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.004	1.000	0.310	0.274	0.055	1.000
C vs D	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.000

注: A = rj_IMRT, B = Hybrid_IMRT, C = VMAT, D = t_VMAT; V_5_L 、 V_{20_L} 、 MLD_L 分别表示左侧肺 V_5 、 V_{20} 和平均剂量; V_5_R 、 MLD_R 表示右侧肺 V_5 和平均剂量; D_{mean_H} 表示心脏平均剂量; D_{mean_C} 表示健侧乳腺平均剂量, $P < 0.05$ 表示有统计学意义。

3 讨论

早期乳腺癌保乳综合治疗包含非根治性手术联合术后放疗 2 个方面内容。由于非根治性手术可以保存乳房, 提高术后美容效果而被患者及医生认可^[6]。乳腺癌患者发生放射性皮肤损伤的原因是上皮细胞及血管内皮细胞的放射线损伤。上皮细胞受到一定剂量射线辐射后, 发生一系列细胞变性, 甚至坏死, 损伤程度与受照射剂量呈正相关^[7]。翟静等^[8]通过将早期乳腺癌患者随机分成保乳术联合放疗及改良根治外科手术 2 组, 对比治疗后 2 组乳房外形保持情况, 全乳放疗后皮肤放射反应分级以及预后等结果, 证实保乳术全乳放疗辅助化疗优于改良根治术单纯辅助化疗的治疗模式。

保乳术后全乳放疗患者肿瘤局控率好, 预期生存时间长。因此, 放疗后晚反应组织的长期并发症以及健侧乳腺因治疗引起辐射致癌的概率越来越受到关注。心脏放射损伤并发症带来的死亡率在一定程度上抵消了肿瘤患者进行放射治疗带来的益处^[9], 尽可能减少心脏剂量是保乳术后全乳放疗一个重要目标。调强技术可对射野内各处的剂量率调制, 剂量分布适应靶区的形状, 从而得到较好的靶区剂量均匀性和适形性, 同时又可以减少 OARs 的剂量。田磊等^[10]在其早期乳腺癌放疗中运用调强与适形剂量学比较的研究结果表明 IMRT 计划优于适形计划。

本文就适形混合调强(Hybrid_IMRT)、限定铅门多野调强计划(rj_IMRT)、双弧容积旋转调强计划(VMAT)和基于切线双弧容积旋转调强计划(t_VMAT)等常用的几种保乳术后调强放疗技术进行靶区及 OARs 的剂量学和 MU 的比较。结果表明: Hybrid_IMRT, rj_IMRT 和 VMAT 在靶区的 HI , CI , D_{max} 和 D_{mean} 等方面统计结果基本相似。t_VMAT 由

于优化弧间距窄的原因, 在靶区剂量学指标上较差, 但其在心脏及对侧乳腺保护上有一定的意义, 且 MU 最小, 治疗效率高, 有利于不能久置的患者顺利的完成治疗, 所以该方法也可为保乳术后放疗的一种备选技术。VMAT 在机架旋转的同时出束, 这种治疗方式给予治疗计划更多的射野选择, 从而提高了靶区的适形度和靶区内剂量的均匀性^[11]。这种治疗技术同时会带来更多的正常组织低剂量照射, 不利于 OAR 的保护, 在本研究中也得到充分的体现。VMAT 联合深吸气屏气进行保乳术后放疗是目前比较热门的一种技术, 通过呼吸门控的方法使患者在治疗过程中处于深吸气的状态, 增加乳腺与心脏间隙宽度以及同侧肺的体积, 从而很好的减少 VMAT 计划的肝脏, 肺和健侧乳腺的剂量^[12]。

IMRT 技术早于 VMAT 使用在保乳术后全乳放疗中, 在有限数目的固定野调制中未能给予靶区足够的 HI 和 CI , OAR 的剂量限制亦不优于 VMAT。本研究改良了以往 IMRT 射野方式: 利用准直器宽度限定技术和旋转一定角度准直器使其射野内最大覆盖靶区, 并给予更多射野。结果表明: 限制铅门多野调强 rj_IMRT 可使靶区剂量 HI 、 CI 以及 D_{max} 满足临床要求的情况下, 极大减少了患侧肺的剂量(在本次研究中, 大多数治疗方案可限制患侧肺平均剂量低至 1000 cGy 以下); 心脏的受照剂量控制在 (468.4 ± 87.4) cGy, 比纯粹 VMAT 计划的 (689.8 ± 126.5) cGy 有优势; 健侧乳腺、对侧肺在本研究中 rj_IMRT 也可以进行很好的保护。但这种计划方式需要在每个 BEV 方向调整准直器角度、射野切肺大小和避让心脏以及健侧乳腺等, 比常规 IMRT 和 VMAT 计划设计过程复杂, 对设计者的经验有较高的要求。同时, MU 劣于其他 3 种治疗计划, 使患者接受治疗时间延长, 治

疗效率降低。Hybrid_IMRT 比 rj_IMRT 在限值 MU 方面有一定的优势,但在限制患侧肺方面不如后者。

综上,本文讨论的 4 种放疗计划方式都可应用于早期乳腺癌保乳术后的全乳放疗中,同时也各有局限性。因而,在实际临床应用中应综合考量患者身体状况、本单位的治疗设备特点以及计划设计者的经验等因素,进而选择合适的治疗方法。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

作者贡献声明 任洪荣负责进行治疗计划设计和文章撰写;殷海涛负责给予文章修改意见;阮晓博和丁纪负责帮忙查找参考文献以及文章查重;周冲负责对数据统计给予指导;陈猛负责对论文最终版本修订及审核

参考文献

- [1] Gonzalez-Angulo AM, Morales-Vasquez F, Hortobagyi GN. Overview of resistance to systemic therapy in patients with breast cancer[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2007, 608: 1-22. DOI: 10.1007/978-0-387-74039-3_1.
- [2] Fisher B, Anderson S, Bryant J, et al. Twenty-year follow-up of a randomized trial comparing total mastectomy, lumpectomy, and lumpectomy plus irradiation for the treatment of invasive breast cancer[J]. *N Engl J Med*, 2002, 347 (16): 1233-1241. DOI: 10.1056/NEJMoa022152.
- [3] Supakalin N, Pesee M, Thamronganantakul K, et al. Comparison of different radiotherapy planning techniques for breast cancer after breast conserving surgery[J]. *Asian Pac J Cancer Prev*, 2018, 19 (10): 2929-2934. DOI: 10.22034/APJCP.2018.19.10.2929.
- [4] 中国抗癌协会乳腺癌专业委员会. 中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范(2019年版)[J]. *中国癌症杂志*, 2019, 29 (8): 609-679. DOI: 10.19401/j.cnki.1007-3639.2019.08.009.
- [5] 金大伟, 戴建荣, 李晔雄, 等. 前列腺癌调强放疗的治疗方案比较[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2005, 14 (1): 47-51. DOI: 10.3760/j.issn:1004-4221.2005.01.011.
- [6] Acil H, Cavdar I. Comparison of quality of life of Turkish breast cancer patients receiving breast conserving surgery or modified radical mastectomy[J]. *Asian Pac J Cancer Prev*, 2014, 15 (13): 5377-5381. DOI: 10.7314/apjcp.2014.15.13.5377.
- [7] 杨文峰, 杨志祥, 金增强. 放射性皮肤损伤临床诊断与治疗[J]. *中国辐射卫生*, 2020, 29 (1): 1-6. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.001.
- [8] 翟静, 张鹏程, 耿凯, 等. 乳腺癌应用保乳术辅助放疗的临床疗效观察[J]. *中国辐射卫生*, 2014, 23 (3): 270-272. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2014.03.035.
- [9] 李鹏, 陈凡, 孙祥益, 等. 放射性心脏损伤动物模型相关实验研究进展[J]. *中国辐射卫生*, 2020, 29 (1): 93-97. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.022.
- [10] 田磊, 李辉成, 池琦, 等. 乳腺癌保乳术后动态调强放疗与常规放疗的剂量学比较[J]. *中国辐射卫生*, 2014, 23 (1): 57-59, 63. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2014.01.022.
- [11] Srivastava AK, Bharati A, Rastogi M, et al. Evaluation of dosimetric implications of Pareto and constrained mode of optimization for Monaco TPS generated VMAT plans in post operated carcinoma of the left breast[J]. *Pol J Med Phys Eng*, 2021, 27 (1): 11-18. DOI: 10.2478/pjmpe-2021-0002.
- [12] Yu PC, Wu CJ, Tsai YL, et al. Dosimetric analysis of tangent-based volumetric modulated arc therapy with deep inspiration breath-hold technique for left breast cancer patients[J]. *Radiat Oncol*, 2018, 13 (1): 231. DOI: 10.1186/s13014-018-1170-3.

(收稿日期:2021-01-19)